



多旋翼飞行器

DIY入门与实践

张熙恒 张建强 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

内容简介

本书系统地介绍了多旋翼飞行器的组成、工作原理、飞行控制、飞控系统、动力系统、传感器、通信系统、地面站、飞行软件、飞行测试、飞行安全等方面的知识。本书可作为高等院校相关专业教材，也可供从事多旋翼飞行器研发、生产、应用、维护、测试、飞行的人员参考。

多旋翼飞行器 DIY

入门与实践

张熙恒 张建强 编著

图书在版编目(CIP)数据

多旋翼飞行器DIY入门与实践 / 张熙恒, 张建强编著. — 西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.4

ISBN 978-7-5507-4882-2

I. ①多... ②张...

中国版本图书馆CIP

责任编辑 张

责任印制 张

出版发行 西安电子科技大学出版社

地址 西安市太白南路2号

电话 (029) 88342822 88301407 邮编 710071

网址 www.xdpuh.com 电子邮箱 xdpuh@163.com

印刷厂 陕西新华印刷厂

版次 2018年4月第1版

印次 2018年4月第1次印刷

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 28.1

字数 1-240千字

定价 37.00元

ISBN 978-7-5507-4882-2

9 5507 4882 2

1-10058187001-1

*** 未经许可，不得转载 ***

西安电子科技大学出版社

本社图书封面贴有防伪标签，无此标签者均为盗版。

内 容 简 介

本书系统地介绍了多旋翼飞行器的定义与分类、多旋翼飞行器的主要部件和飞行理论、多旋翼飞行器 DIY 常用工具及机械装配知识、多旋翼飞行器的组装和调试以及与飞行相关的安全法规信息等。通过 DIY 实例组装的形式，让读者从实践的角度掌握多旋翼飞行器部件的选择、组装和调试全过程。

本书取材来源于实践，选材新颖，图文并茂，通俗易懂，具有很强的可操作性，既适合作为多旋翼飞行器爱好者的入门教材，也适合作为广大无人机行业的工程技术人员及相关专业学生的参考资料，对于希望全面了解多旋翼飞行器知识的其他读者，本书也是一本较好的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

多旋翼飞行器 DIY 入门与实践 / 张熙恒, 张建强编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.4
ISBN 978-7-5606-4885-9

I. ① 多… II. ① 张… ② 张… III. ① 飞行器—组装 IV. ① V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 030084 号

策 划 戚文艳

责任编辑 杨 薇

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 12

字 数 280 千字

印 数 1~3000 册

定 价 27.00 元

ISBN 978-7-5606-4885-9 / V

XDUP 5187001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前 言

近年来，多旋翼飞行器的发展速度迅猛。由于多旋翼飞行器具有运行成本低、机动性能好、无人员伤亡风险、可进行超视距飞行、使用方便高效等特点，目前已被成功应用于影视航拍、测绘航测、电力线巡查、地质勘探、救灾救援、农药喷洒、商业表演等领域。因此，从校园内学生的科技竞赛到行业内专业人员的航拍、测绘等，随处可见多旋翼飞行器的身影。

每一名无人机飞行器爱好者都希望拥有一架自己动手组装(DIY)的多旋翼飞行器翱翔于蓝天，实现每个人自幼年就有的“飞行梦想”！DIY是“Do It Yourself”的英文缩写，意为自己动手做。多旋翼飞行器DIY是指通过网络查找资料，购买材料，经过一番不懈努力，组装自己想要的多旋翼飞行器，最后试飞成功。

本书从DIY的角度，全面系统地介绍了多旋翼飞行器相关知识。全书共分七章，第1章介绍了无人机的定义、分类以及多旋翼飞行器的现状、发展与应用等；第2章介绍了多旋翼飞行器的飞行原理和结构组成；第3章介绍了多旋翼飞行器DIY常用工具及机械装配知识；第4章介绍了多旋翼飞行器核心部件的功能及选择原则；第5章介绍了多旋翼飞行器从选择不同部件到将它们组装在一起的全过程，以及安装注意事项；第6章介绍了多旋翼飞行器的设置与调试；第7章介绍了多旋翼飞行器的基础飞行训练、模拟器的使用以及与飞行相关的安全法规信息。

本书紧扣多旋翼飞行器DIY各个环节，着重阐述多旋翼飞行器核心部件的功能、选择原则、组装等要点，全方位图解多旋翼飞行器DIY过程，给予读者直观、真实、生动的细节描述，激发读者对DIY属于自己的多旋翼飞行器的兴趣。

本书取材来源于实践，选材新颖，图文并茂，通俗易懂，具有很强的可操作性，既适合作为多旋翼飞行器爱好者的入门教材，也适合作为广泛无人机行业工程技术人员及相关专业学生的参考资料，对于希望全面了解多旋翼飞行器知识的其他读者，本书也是一本较好的科普读物。

本书在编写过程中，参阅了许多同行专家的著作及部分网络资料，引用了一些产品使用说明书，特向其作者表示深切的谢意。

由于笔者学识有限，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年12月

目 录

第 1 章 多旋翼飞行器概述	1
1.1 多旋翼飞行器基础知识	1
1.1.1 无人机的定义	1
1.1.2 无人机的分类	2
1.1.3 多旋翼飞行器的类型	3
1.1.4 多旋翼飞行器的优缺点	9
1.1.5 多旋翼飞行器的现状与发展	10
1.2 多旋翼飞行器的应用	13
1.2.1 多旋翼飞行器应用于航空拍摄、航空测绘	14
1.2.2 多旋翼飞行器应用于林业	15
1.2.3 多旋翼飞行器应用于农业	16
1.2.4 多旋翼飞行器应用于水利系统	17
1.2.5 多旋翼飞行器应用于电力巡检	18
1.2.6 多旋翼飞行器应用于野生动物保护	19
1.2.7 多旋翼飞行器应用于国土资源系统	19
1.2.8 多旋翼飞行器应用于影视剧拍摄	21
1.2.9 多旋翼飞行器应用于快递业	22
1.2.10 多旋翼飞行器应用于灾后救援	22
第 2 章 多旋翼飞行器的飞行原理和组成	24
2.1 多旋翼飞行器的飞行原理	24
2.1.1 多旋翼飞行器坐标系	24
2.1.2 四旋翼飞行器的工作原理	26
2.2 多旋翼飞行器的基本组成	29
2.2.1 机架	29
2.2.2 电动机	31
2.2.3 电子调速器	31
2.2.4 螺旋桨	31
2.2.5 电池	32
2.2.6 遥控系统	32
2.2.7 飞行控制系统	33
第 3 章 多旋翼飞行器 DIY 常用工具	35
3.1 安装工具	35

3.1.1	手钳类工具	35
3.1.2	旋具类工具	37
3.1.3	扳手类工具	39
3.2	测量工具	41
3.2.1	量尺	41
3.2.2	游标卡尺	43
3.2.3	千分尺	44
3.2.4	百分表	45
3.3	切割工具	45
3.3.1	手电钻	45
3.3.2	电磨	46
3.3.3	手钢锯	47
3.3.4	锉刀	47
3.3.5	美工刀	48
3.4	焊接及调试工具	48
3.4.1	焊接工具	48
3.4.2	调试工具	50
3.5	固定工具	51
3.5.1	双面胶带	51
3.5.2	尼龙搭扣	52
3.5.3	束线带	52
3.5.4	螺丝胶	52
3.5.5	热熔胶	53
第 4 章 多旋翼飞行器部件选择		
4.1	机架的选择	54
4.1.1	机架的组成	54
4.1.2	机架的分类	56
4.1.3	机架的选择原则	57
4.2	动力系统的选择	58
4.2.1	电动机	58
4.2.2	电子调速器	63
4.2.3	螺旋桨	70
4.2.4	电池	78
4.2.5	电动机、螺旋桨和电子调速器的匹配	84
4.2.6	估算飞行器飞行时间	86
4.3	遥控设备的选择	87
4.3.1	遥控设备的种类	87

4.3.2	遥控设备的组成	87
4.3.3	遥控设备的频率	91
4.3.4	遥控设备的调制模式	92
4.3.5	遥控设备的选择	93
4.4	飞行控制器的选择	93
4.4.1	飞行控制器的组成	93
4.4.2	飞行控制器的飞行模式	98
4.4.3	飞行控制器的 PID 调节	99
4.4.4	飞行控制系统地面站功能	102
4.4.5	飞行控制器的选择	104
第 5 章 多旋翼飞行器组装 109		
5.1	机型及主要部件的选择	109
5.1.1	飞行控制器的选择	109
5.1.2	机架的选择	110
5.1.3	电动机和螺旋桨的选择	110
5.1.4	电池的选择	112
5.1.5	电子调速器的选择	113
5.1.6	GPS 的选择	113
5.1.7	遥控器的选择	114
5.1.8	估算飞行器飞行时间	114
5.2	其他部件及材料工具的准备	115
5.2.1	其他部件的准备	115
5.2.2	材料工具的准备	117
5.3	机架及动力系统的安装	119
5.3.1	电子调速器的焊接	119
5.3.2	机架的安装	123
5.4	飞行控制器、接收机、电池的安装	127
5.4.1	飞行控制器的安装	127
5.4.2	遥控器接收机的安装	129
5.4.3	电池的安装	130
5.4.4	电子调速器数据线的连接	131
5.5	外置 GPS 的安装	132
第 6 章 多旋翼飞行器的设置与调试 134		
6.1	多旋翼飞行器无桨叶调试	134
6.1.1	飞行控制器的相关设置	134
6.1.2	飞行控制器加速度计校正	137

6.1.3	飞行控制器内置罗盘校正.....	141
6.1.4	飞行控制器遥控器校正.....	143
6.1.5	飞行控制器解锁和上锁.....	144
6.1.6	电子调速器油门航程校正.....	147
6.1.7	调试电动机转向.....	148
6.2	多旋翼飞行器有桨叶调试.....	150
6.2.1	螺旋桨的安装.....	150
6.2.2	有桨叶调试前的检查.....	151
6.2.3	有桨叶调试的基本步骤.....	152
6.2.4	有桨叶调试的基本内容.....	153
6.3	多旋翼飞行器高级性能调试.....	154
6.3.1	飞行控制器电池、GPS 和地面站故障保护设置.....	154
6.3.2	飞行控制器 PID 参数调试.....	157
6.3.3	飞行控制器自稳飞行模式自动微调.....	159
第 7 章 多旋翼飞行器飞行训练与安全 161		
7.1	多旋翼飞行器的基础飞行训练.....	161
7.1.1	飞行安全检查.....	161
7.1.2	飞行器起飞与降落训练.....	163
7.1.3	飞行器上升与下降训练.....	163
7.1.4	飞行器俯冲与上仰训练.....	164
7.1.5	飞行器左偏航与右偏航训练.....	165
7.1.6	飞行器左侧翻滚与右侧翻滚训练.....	165
7.1.7	飞行器日常飞行训练.....	166
7.2	多旋翼飞行器模拟器介绍.....	167
7.2.1	模拟器的种类.....	167
7.2.2	模拟器软件使用.....	169
7.3	多旋翼飞行器相关安全信息.....	174
7.3.1	航空空域的划分.....	174
7.3.2	多旋翼飞行器飞行相关的法律问题.....	177
7.3.3	多旋翼飞行器飞行相关法规信息.....	178
参考文献 184		



第1章 多旋翼飞行器概述

本章从无人机的定义、分类以及多旋翼飞行器的现状、发展与应用等方面系统地向读者介绍多旋翼飞行器的基础知识，让读者了解无人机发展的历史，掌握相关概念，为后面的学习打下基础。

1.1 多旋翼飞行器基础知识

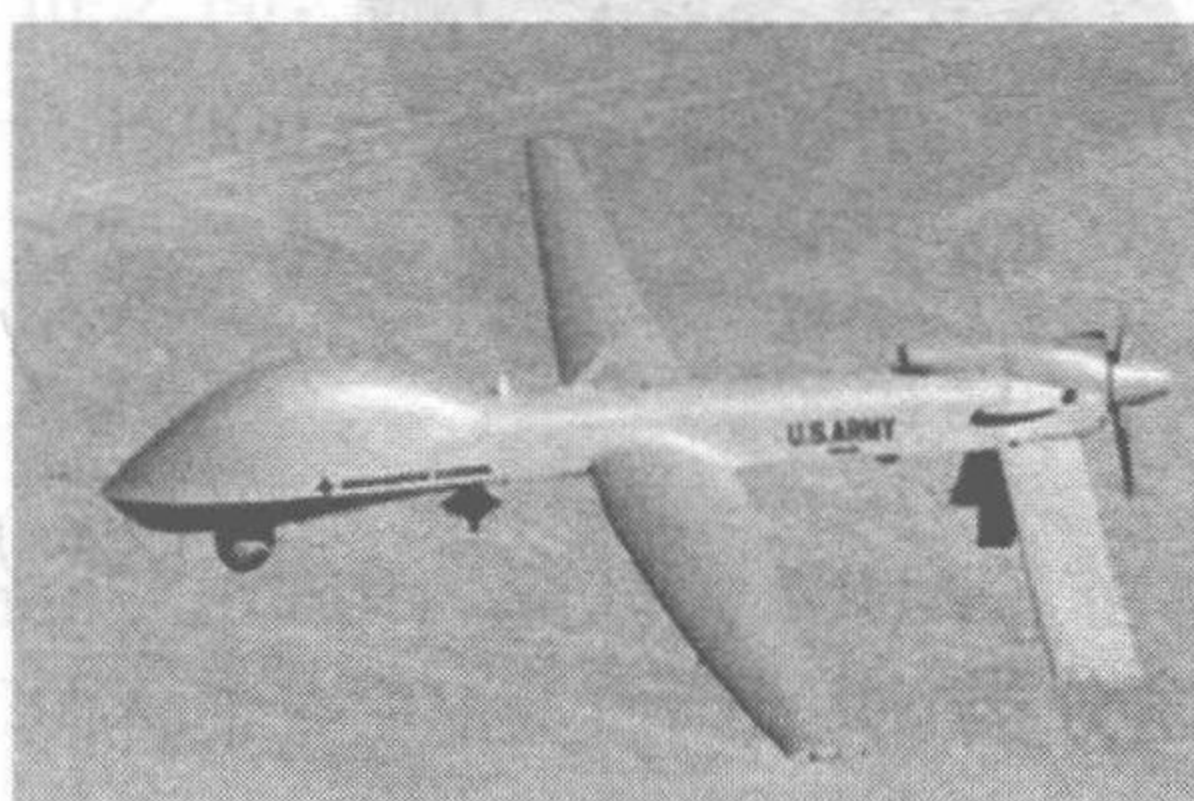
近年来，随着民用无人机产品的热销、各种相关技术的不断进步、开源飞行控制器的推动、专业人才的不断加入以及资本的投入等，多旋翼飞行器技术得到迅猛发展，无人机已经成为人们最喜爱的智能产品之一。本节将介绍无人机的定义、分类等概念，让读者了解不同类型多旋翼飞行器间的区别，以便更好地学习无人机的相关知识。

1.1.1 无人机的定义

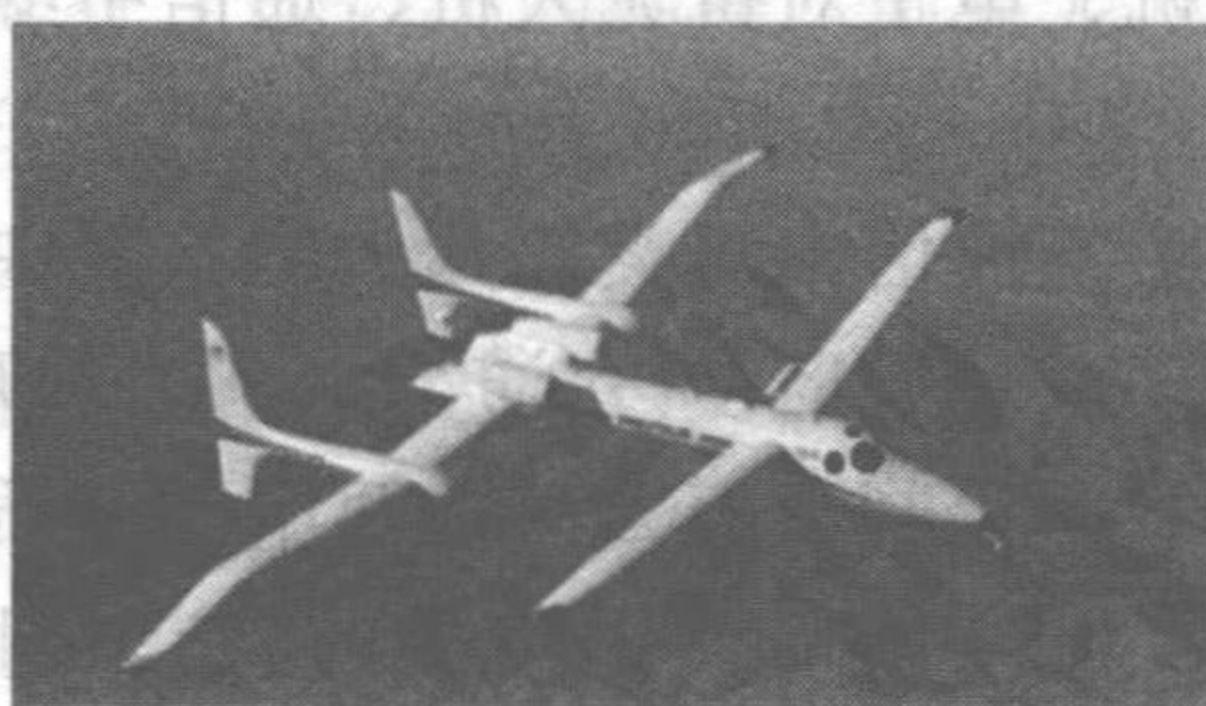
无人驾驶飞机简称“无人机”，英文缩写为“UAV” (Unmanned Aerial Vehicle)，是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机，是飞行器的一种，因此有时也把无人机称为飞行器。图 1-1 所示为美国几种军用无人机。



美国“全球鹰”无人机



美国“捕食者”无人机



美国“影子200”无人机



美国“火力侦察兵”无人直升机

图 1-1 美国军用无人机



无人机是高科技、新技术的集中载体，与载人飞机相比，它具有体积小、造价低、费用比高，无人员伤亡风险，生存能力强，机动性能好，使用方便、成本低，用途广泛等诸多优点。它的研制成功和运用，揭开了以远距离攻击型智能化武器、信息化武器为主导的“非接触性战争”的新篇章，备受世界各国军队的青睐。它在现代战争中有极其重要的作用，在民用领域也有广阔的前景，例如用于航拍、农林植保、电力巡检等领域。

无人机技术是一项涉及多个技术领域的综合技术，它对通信、传感器、人工智能和发动机技术有比较高的要求。无人机与所需的控制、拖运、储存、发射、回收、信息接收处理装置统称为无人机系统。

1.1.2 无人机的分类

从技术角度定义，无人机可分为固定翼无人机、旋翼无人机、无人飞艇、伞翼无人机、扑翼无人机等几大类，如图 1-2 所示。目前，无人机的分类方式有很多种，除上述分类方法外，还可以按用途、大小、速度、活动半径、任务高度等方法进行分类。



图 1-2 几类无人机

1. 按用途分类

按用途分类，无人机可分为军用无人机和民用无人机。

军用无人机可分为侦察无人机、诱饵无人机、电子对抗无人机、通信中继无人机、无人战斗机以及靶机等。

民用无人机又分为监测巡视类、遥感绘制类、通信中继类等几大类。其中监测巡视类无人机主要用于灾害监测(火灾、水灾、地震等)、环境监测(交通、水利、地形地貌)、气象监测、电力线路和石油管路巡视等工作中；遥感绘制类无人机主要用于地质遥感遥测、矿藏勘测、地形测绘等工作中；通信中继类无人机包括通信中继类和通信组网类无人机。

2. 按大小分类

按大小分类，无人机可分为微型无人机、轻型无人机、小型无人机以及大型无人机。



此种分类依据为《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》。

(1) 微型无人机, 是指空机质量小于等于 7 kg 的无人机。

(2) 轻型无人机, 是指空机质量大于 7 kg, 但小于等于 116 kg 的无人机, 且全马力平飞中, 校正空速小于 100 km/h(55 海里/h), 升限小于 3000 米。

(3) 小型无人机, 是指空机质量小于等于 5700 kg 的无人机, 微型和轻型无人机除外。

(4) 大型无人机, 是指空机质量大于 5700 kg 的无人机。

3. 按速度分类

按速度分类, 无人机可以分为低速、亚音速、跨音速、超音速和高超音速无人机。

低速无人机的飞行速度一般小于 0.3 Ma(马赫数, 是飞行速度与当地大气中的音速之比), 亚音速无人机的飞行速度一般为 0.3~0.7 Ma, 跨音速无人机的飞行速度一般为 0.7~1.2 Ma, 超音速无人机的飞行速度一般为 1.2~5 Ma, 高超音速无人机的飞行速度一般大于 5 Ma。

4. 按活动半径分类

按活动半径分类, 无人机可分为超近程无人机、近程无人机、短程无人机、中程无人机和远程无人机。

超近程无人机活动半径在 15 km 以内, 近程无人机活动半径在 15~50 km 之间, 短程无人机活动半径在 50~200 km 之间, 中程无人机活动半径在 200~800 km 之间, 远程无人机活动半径大于 800 km。

5. 按任务高度分类

按任务高度分类, 无人机可以分为超低空无人机、低空无人机、中空无人机、高空无人机和超高空无人机。

超低空无人机任务高度一般在 0~100 m 之间, 低空无人机任务高度一般在 100~1000 m 之间, 中空无人机任务高度一般在 1000~7000 m 之间, 高空无人机任务高度一般在 7000~18000 m 之间, 超高空无人机任务高度一般大于 18000 m。

1.1.3 多旋翼飞行器的类型

多旋翼飞行器的英文为 Multicopter Unmanned Aircraft, 缩写为 MUA, 也称为多轴飞行器, 是一种没有搭载驾驶人员的旋翼飞行器, 具有垂直起降、空中悬停、低空飞行和原地回转等独特飞行技能, 在军用和民用市场上都大有用武之地。多旋翼飞行器是旋翼无人机的一种, 通常有 3 个以上的旋翼。旋翼无人机是指通过在空气中旋转螺旋桨产生足够的升力, 从而实现飞行的一类无人机。

旋翼无人机通常由发动机驱动的独立水平螺旋桨产生推进力升空和前进。正常飞行时旋翼机的旋翼被前进时的相对气流吹动而自旋, 从而产生将机身维持在空中的升力。由于其外形像一个横放的风车, 所以最初发明时也被称为风车飞机。这种航空器飞行时通常阻力比较大, 速度较慢, 但飞行安全性好, 尺寸小, 不会出现失速现象, 出现空中发动机“停车”故障后可以自旋滑翔降落。这是旋翼航空器(包括直升机在内)独有的安全特性。

旋翼无人机可以分为两种主要的类型, 一种是多旋翼飞行器, 另一种是常规的直升机。



多旋翼飞行器可以根据电动机的数目作进一步划分，如四旋翼飞行器有 4 个电动机，而六旋翼飞行器则有 6 个电动机。下面将对每种类型加以详细介绍。

1. 常规直升机

图 1-3 所示直升机是一架典型的无线电遥控常规直升机。



图 1-3 典型的无线电遥控常规直升机

常规直升机是通过改变旋翼的桨距和桨盘的倾斜角来实现飞行控制的。桨距的改变是通过一个称为“倾斜盘”的复杂机械结构来实现的。多数的直升机通常拥有一副大的旋翼，这副旋翼将产生与旋转方向相反的扭矩。这就是需要一副尾桨来抵消偏航力矩的原因所在，尾桨的作用是保持直升机的正确航向。于是，这就造成了一定的效率损失，因为一部分能量完全用于保持直升机的航向，而不是用来产生升力。为了补偿这一损失，有些直升机的设计采用两副相反方向旋转的旋翼，通过反向旋转来抵消扭矩，同时将所有的能量用于产生升力。

由于常规直升机旋翼较大且较重，相对于其他类型的无人机而言，它要危险得多。由于直升机的复杂性，相对于多旋翼飞行器这样较为常见的无人机平台，常规直升机在坠机中也更容易损坏，这也是多旋翼飞行器得以流行起来的一个重要原因。

2. 三旋翼飞行器

典型的三旋翼飞行器如图 1-4 所示。



图 1-4 典型的三旋翼飞行器



三旋翼飞行器使用 3 个电动机，按照三角形的布局方式排列，一个在后面，两个在前面，如图 1-5 所示。

三旋翼飞行器的外伸臂杆通常间隔 120° ，其优势就是在使用机载相机时，在如此宽的夹角里面可以避免外伸臂杆和螺旋桨进入相机的视野中。另一个好处就是三旋翼飞行器只采用 3 个电动机，这样制作的成本就可以低一点，但为了实现对三旋翼飞行器的完全控制，其尾部的电动机需要向两侧倾斜，使得三旋翼飞行器能够向左或向右飞行(偏航)。这也意味着相对于其他形式诸如四旋翼飞行器这样的无人机而言，三旋翼飞行器的偏航控制要快得多。但是，三旋翼飞行器制作起来要复杂一些，因为需要一个如图 1-6 所示的偏航机构来倾斜尾部的电动机，可以保证飞行特性更加稳定，这对于使用无人机进行空中航拍是非常有利的。

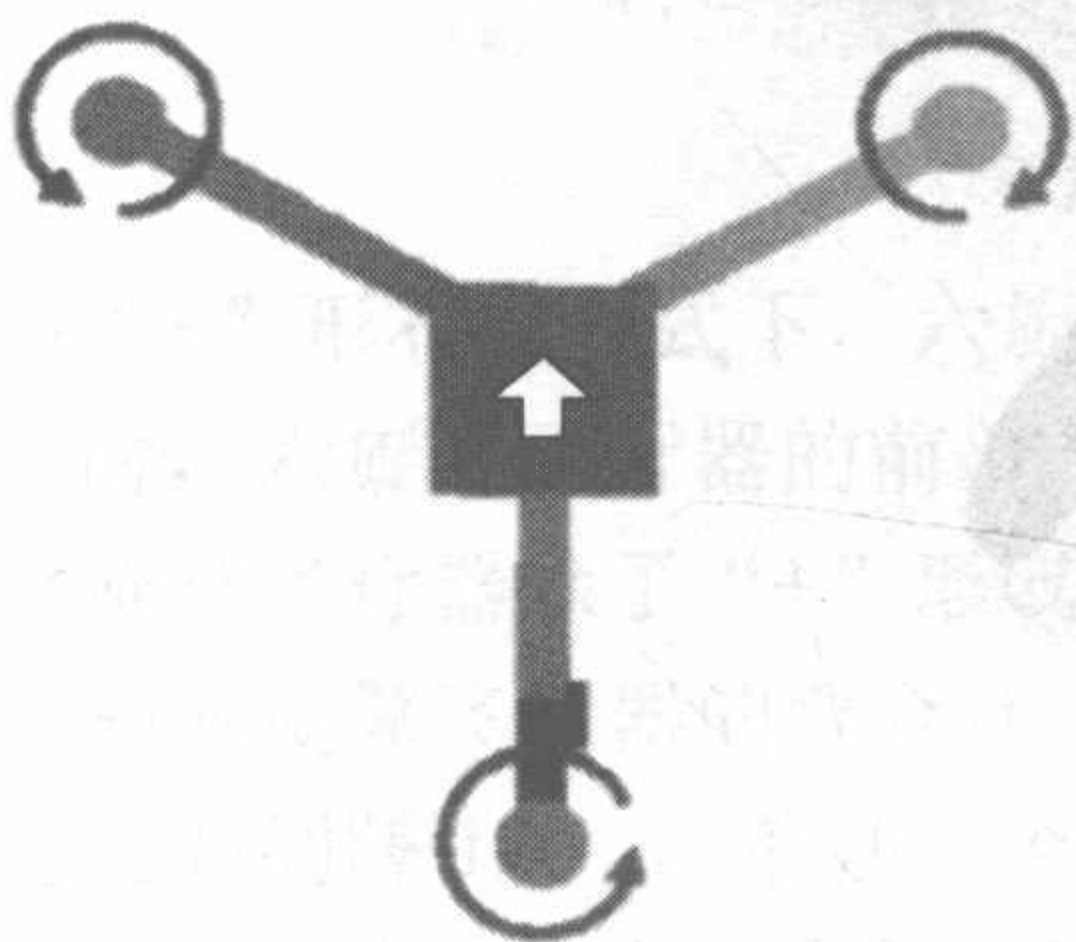


图 1-5 三旋翼飞行器外形的俯视图

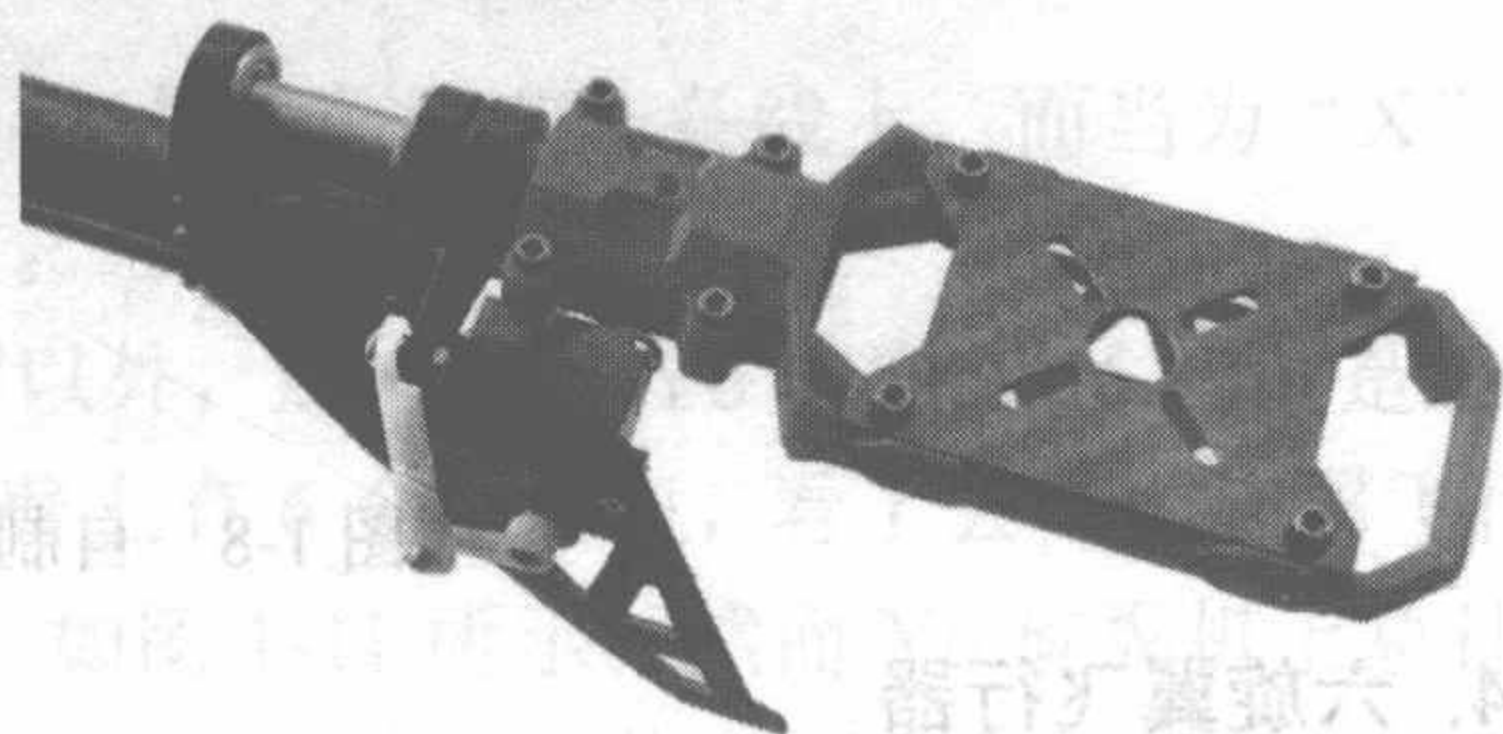
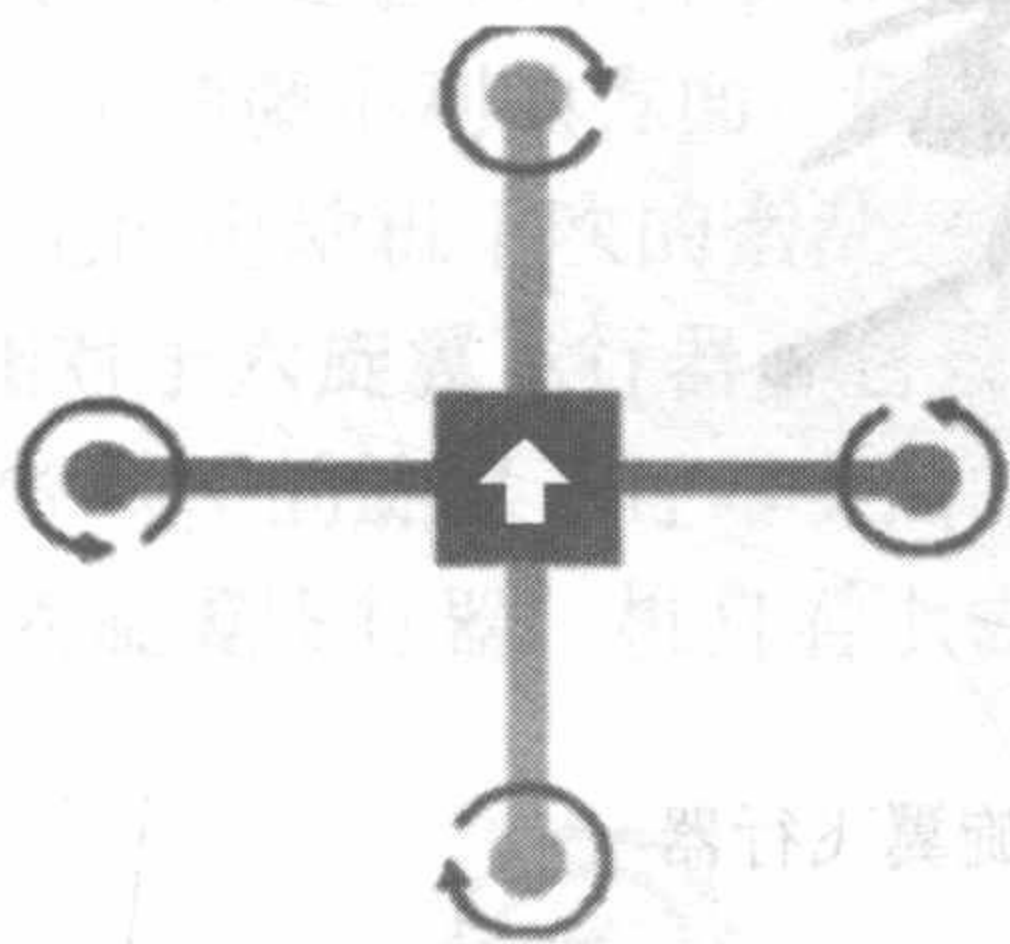


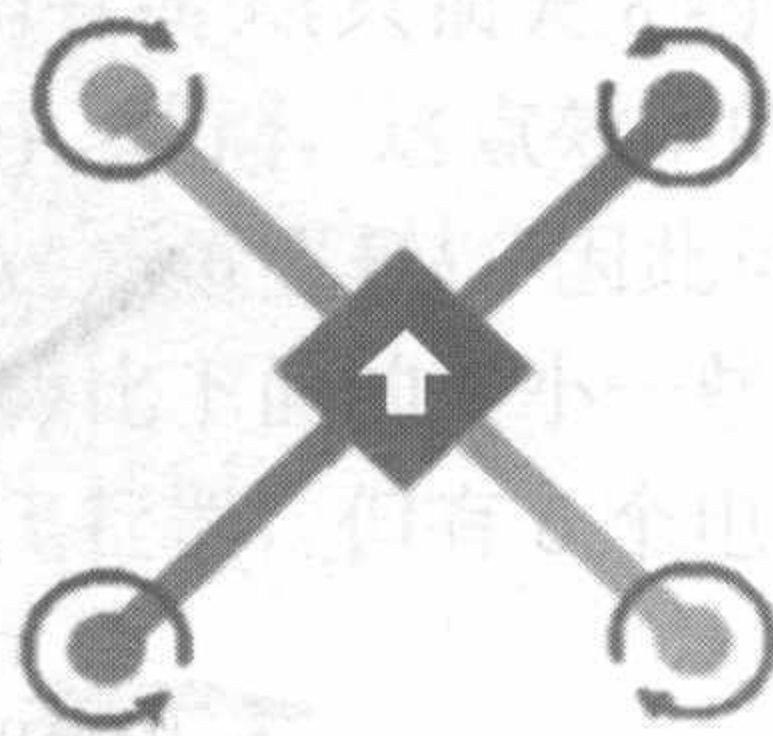
图 1-6 用于倾斜尾部电动机的偏航机构

3. 四旋翼飞行器

四旋翼飞行器是当下最流行的多旋翼飞行器，典型特征是具有 4 个电机，可按照“+”形或“X”形进行排列，如图 1-7 所示。



(a) “+”形布局



(b) “X”形布局

图 1-7 四旋翼飞行器的布局方式

在“+”形布局方式下，四旋翼飞行器的前部与一个电动机对齐。而当为“X”形布局方式时，四旋翼飞行器的前部在两个前置的电动机之间。后一种布局方式用处更大，更为流行，特别是采用前视机载相机时前面的外伸臂和螺旋桨可较少地出现在相机的视野中。

四旋翼飞行器的 4 个电动机中，2 个顺时针旋转，而其余 2 个则逆时针旋转。这是为



了抵消电动机所产生的扭矩，并使得无人机能够保持正确的方向(这与常规的直升机上的尾桨有着相同的功能)。为了控制四旋翼飞行器，电动机的转速是变化的，例如，为了让无人机向前倾斜，前面两个电动机转速减小，而后面两个电动机转速增大。

四旋翼飞行器受欢迎的原因主要是易于制作且便于控制。制作四旋翼飞行器时，需要做的仅仅是制作一个“+”形的机架，并将4个电动机安装在外伸臂杆的末端，这里没有任何花哨的机械机构或者连接部件。图1-8所示为一架自制的四旋翼飞行器。



图 1-8 自制四旋翼飞行器

4. 六旋翼飞行器

六旋翼飞行器有6个外伸臂杆和6个电动机，图1-9为一架典型的六旋翼飞行器。

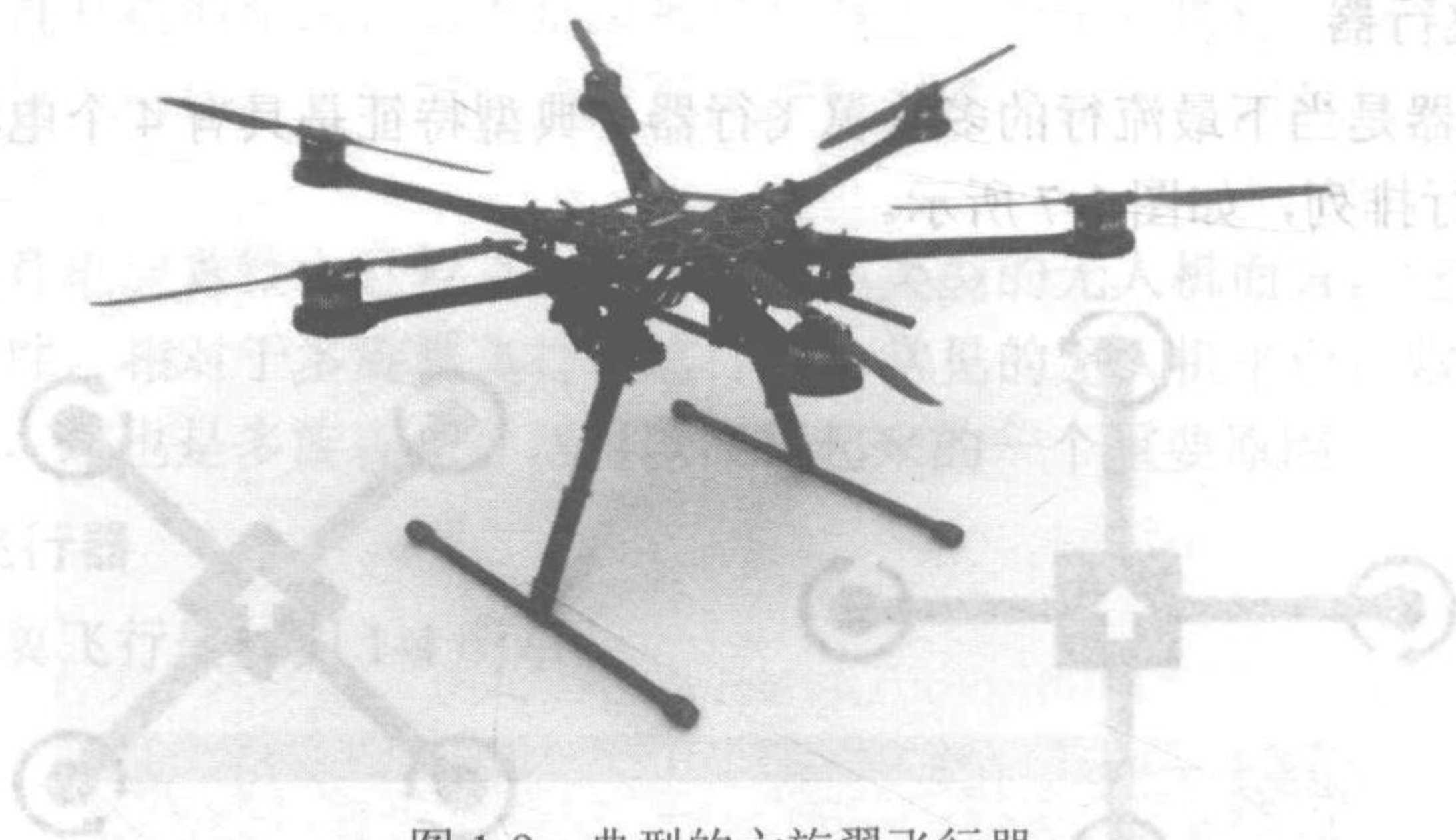


图 1-9 典型的六旋翼飞行器

六旋翼飞行器相比三(四)旋翼飞行器最明显的优势是具有较多的电动机，使得它能够搭载较重的设备，另外，六旋翼飞行器的电动机围绕中心分布得较为紧密，当一个电动机失效时，仍然可用剩下的电动机保持相对稳定，可以让无人机安全着陆。如果四旋翼飞行器或者三旋翼飞行器上有一个电动机失效了，无人机通常会坠毁，因为每一个电动机对于控制无人机的稳定飞行都非常关键。也正是因为这个原因，可以看到很多专业航拍用的无人机通常都是六旋翼或者八旋翼的构型，这是因为其负载能力更强，更多电动机使其具有预防失效的冗余能力。

六旋翼飞行器的6个电动机，可按照“+”形或“X”形进行排列，如图1-10所示。

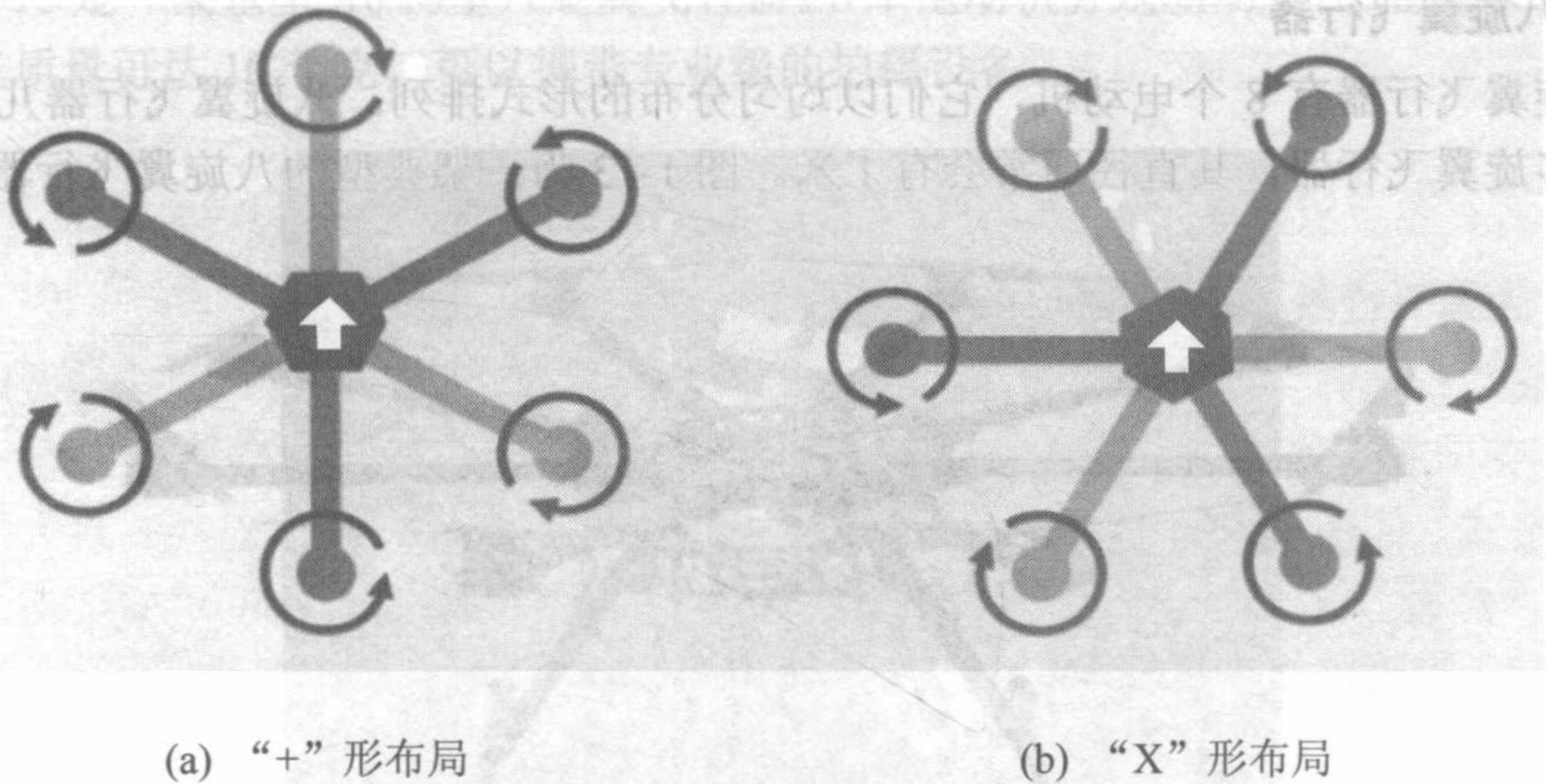


图 1-10 六旋翼飞行器的布局方式

在“+”形布局方式下，六旋翼飞行器的前部与其前臂在一条线上，而当为“X”形布局方式时，六旋翼飞行器的前部在两个六之间。

六旋翼飞行器除了“+”形或“X”形构型以外，还有一种 Y6 构型。Y6 构型是三旋翼飞行器和六旋翼飞行器的混合体。在 3 个外伸臂上有 6 个电动机，看上去像三旋翼飞行器，两个臂之间间隔 120° ，单独一个臂位于后面，如图 1-11 所示。然而 Y6 旋翼机上总计有 6 个电动机，因此仍把它认为是六旋翼飞行器。每个外伸臂上安装有两个电动机，一个朝上，一个朝下，即同轴排列。通常每个电机按照相反的方向旋转。

Y6 构型相对于常规的六旋翼飞行器具有一些优点。由于只有 3 个臂，组装起来稍微容易一些，另外机架也相对要轻一些。这种构型的主要优点在于电动机有更多的冗余，这是由于它们的每一个电机都作用在相同的推力轴线上。万一 Y6 构型的某个电动机失效了，几乎很难被察觉到，只是拉力下降了 $1/6$ 而已。

Y6 构型有一个稍微不利的方面，那就是效率上稍有损失(只损失大约 5%，这是由于下面的电动机是在上面电动机下吹的紊乱气流中运行的)。然而，这点效率的降低被更轻的机身质量所抵消(相对于六旋翼飞行器，它只有 3 个臂，质量更轻)，因此可以将这个损失忽略不计。有些 Y6 构型的旋翼飞行器上面的螺旋桨稍微比下面的要小一些。图 1-12 所示为一架 Y6 构型的六旋翼飞行器，机身看上去像三旋翼飞行器，但有 6 个电动机。

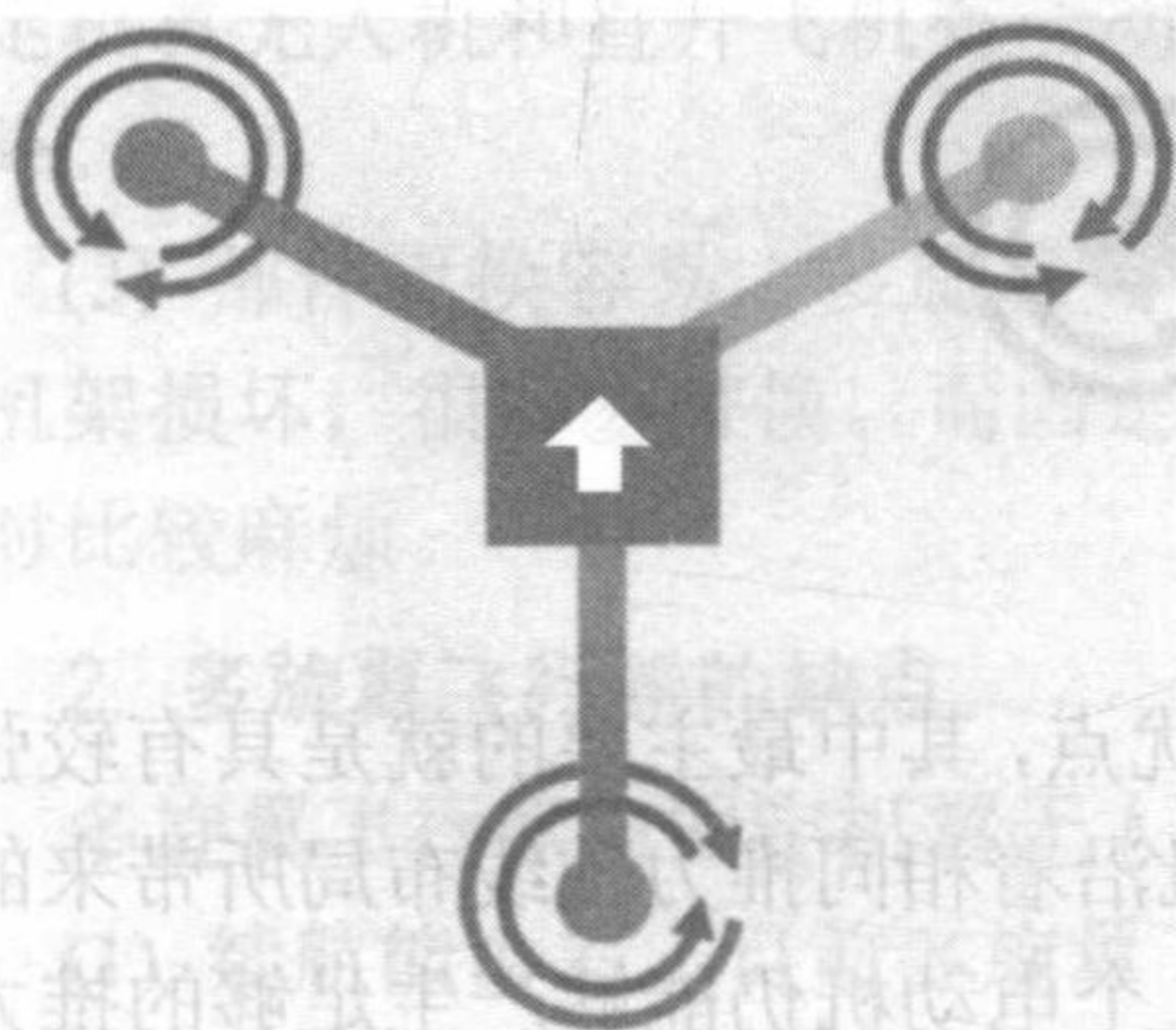


图 1-11 Y6 构型的六旋翼飞行器布局

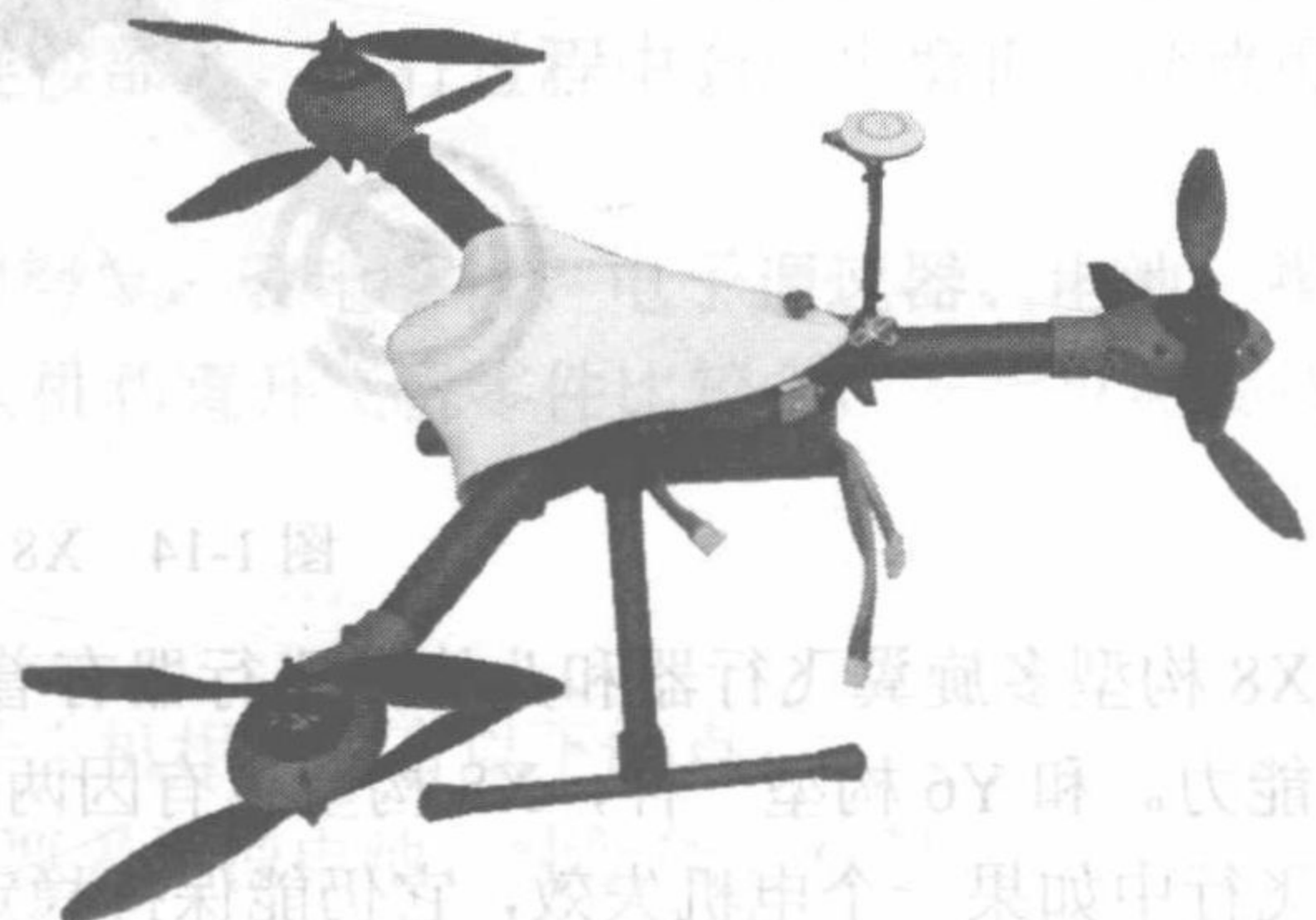


图 1-12 Y6 构型的六旋翼飞行器



5. 八旋翼飞行器

八旋翼飞行器有 8 个电动机，它们以均匀分布的形式排列。八旋翼飞行器几乎是目前最大的多旋翼飞行器，其直径通常会有 1 米。图 1-13 为一架典型的八旋翼飞行器。

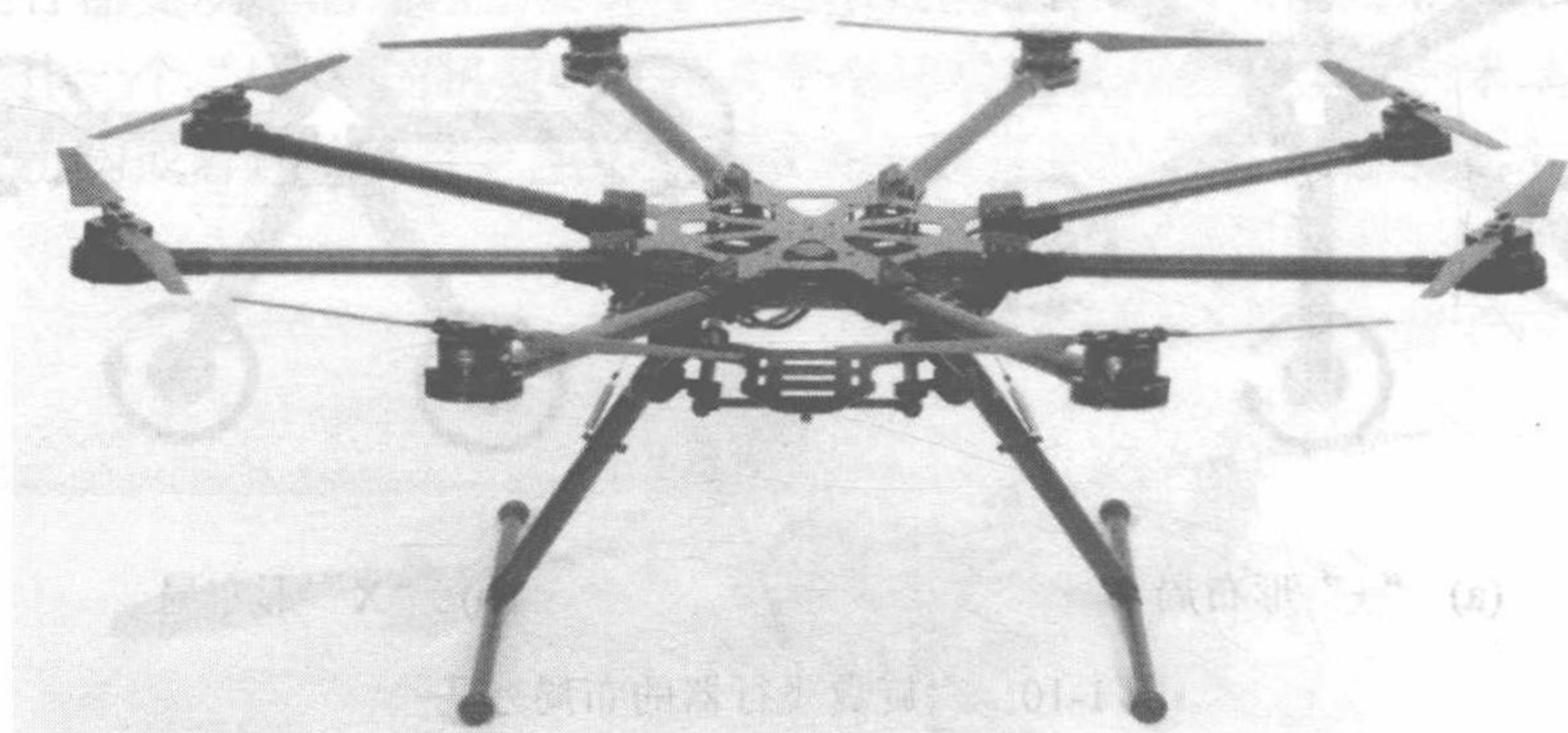


图 1-13 典型的八旋翼飞行器

如六旋翼飞行器一样，电动机数目的增加，可使八旋翼飞行器提供更大的载荷能力，且具有额外的电动机冗余能力。六旋翼飞行器通常可以容忍一个(或者对称的两个)电动机失效，而八旋翼飞行器则可以容忍更多的电动机失效，而不会“炸机”，但这取决于载荷的质量以及失效电动机的位置。

由于载荷能力强以及具有更好的电动机失效冗余能力，八旋翼飞行器通常用作专业的航拍无人机。

八旋翼飞行器还具有另外一种构型——X8 构型。X8 构型本质上就是四旋翼飞行器的机架上安装了 8 个电动机，是四旋翼飞行器和八旋翼飞行器结合的一种产物。X8 机架有 4 个外伸臂，每个臂上分别安装有两个电动机，一个向上，一个向下，如图 1-14 所示。

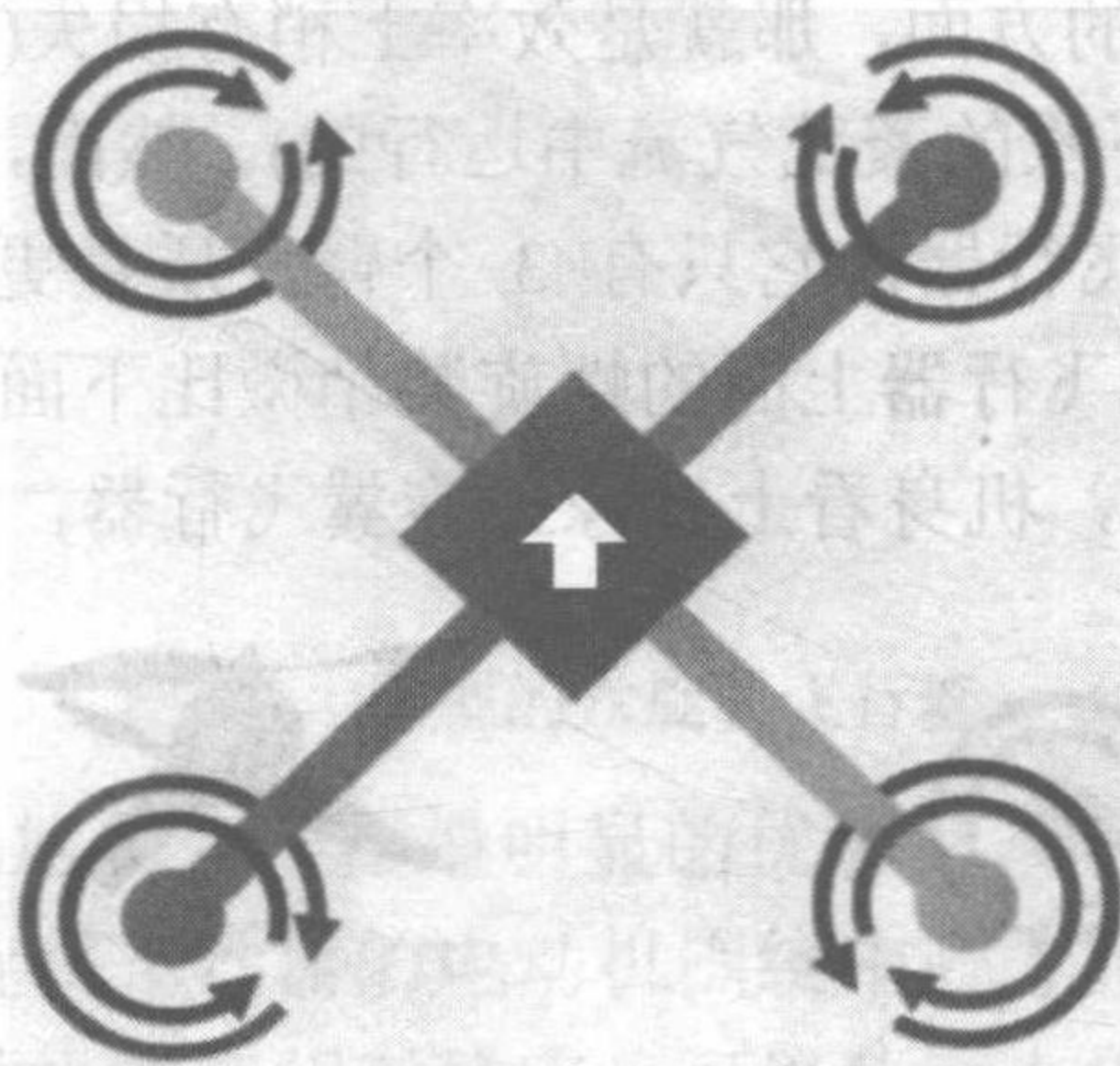


图 1-14 X8 构型布局

X8 构型多旋翼飞行器和八旋翼飞行器有着相同的优点，其中最主要的就是具有较强的载荷能力。和 Y6 构型一样，X8 构型也有因两个电动机沿着相同推力轴线布局所带来的优点，飞行中如果一个电机失效，它仍能保持稳定(假定 7 个电动机仍能够产生足够的推力在空中托举住飞行器)。



图 1-15 是一架重型 X8 构型八旋翼飞行器。8 个电动机分别驱动直径 38 厘米的螺旋桨，最大起飞质量可达 10 千克，可以携带专业级的拍摄设备。

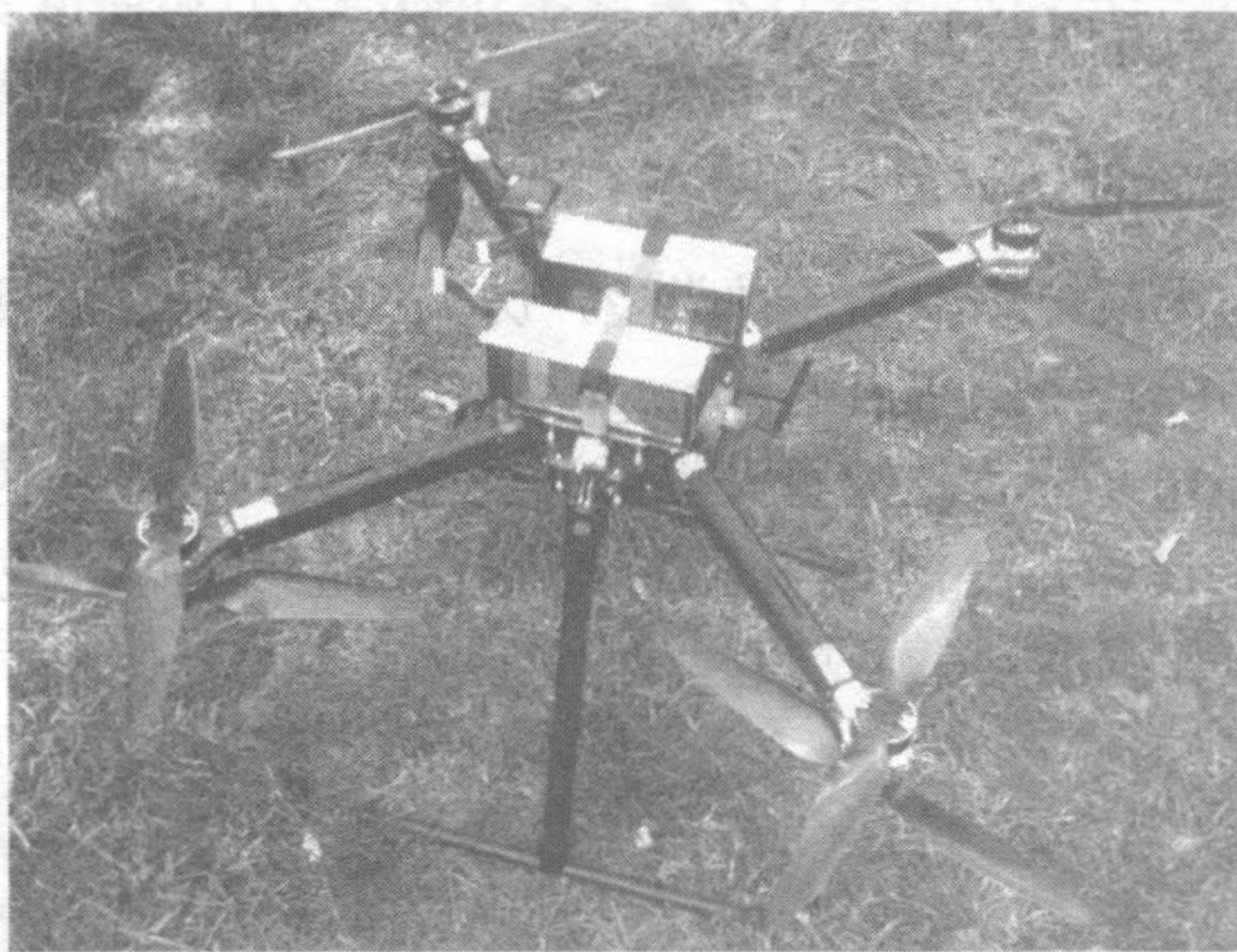


图 1-15 X8 构型八旋翼飞行器

1.1.4 多旋翼飞行器的优缺点

1. 多旋翼飞行器的优点

多旋翼飞行器与固定机翼无人机、直升飞机相比具有以下优点：

(1) 操控简单。多旋翼飞行器不需要跑道便可以垂直起降，起飞后可在空中悬停。它的操控原理简单，通过遥控器摇杆操控可实现飞行器前后、左右、上下和偏航方向的运动。常见多旋翼飞行器，一般尺寸较小(直径大多在 1~2 米以内，某些能达到几米)，操控距离较近(一般几公里范围内)，飞行高度较低(几百到上千米)，负载较小(几公斤到几十公斤，多旋翼飞行器有效负载大多在 10 公斤以内)。在自动驾驶仪方面，多旋翼飞行控制器控制方法简单，控制器参数调节也很方便。而固定机翼无人机和直升飞机的飞行较复杂。固定机翼无人机飞行场地要求开阔，而直升飞机飞行过程中会产生通道间耦合，飞行控制器设计及控制器调节比较困难。

(2) 可靠性高。多旋翼飞行器没有活动部件，它的可靠性基本上取决于无刷电动机的可靠性，因此可靠性较高。而且多旋翼飞行器能够悬停，飞行范围受控，相对更安全。而固定机翼无人机和直升飞机有活动的机械连接部件，飞行过程中会产生磨损，导致可靠性下降。

(3) 部件更换容易。多旋翼飞行器结构简单，若电动机、电子调速器、电池、螺旋桨和机架损坏，很容易替换。而固定机翼无人机和直升飞机零件比较多，安装也需要技巧，相对比较麻烦。

2. 多旋翼飞行器的缺点

多旋翼飞行器与固定机翼无人机、直升飞机相比具有以下缺点。

(1) 续航能力差。目前多旋翼飞行器主要采用锂电池，续航能力有限。

(2) 承载质量小。目前多旋翼飞行器一般承载质量在数千克以内。